

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Výstupní charakteristiky malého generátoru (elektrocentrály) - laboratorní úloha

Output Characteristics of a Small Generator - Laboratory Exercise

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání bakalářské práce

Student: **Ondřej Kubík**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika
Téma: Výstupní charakteristiky malého generátoru (elektrocentrály) -
laboratorní úloha
Output Characteristics of a Small Generator - Laboratory Exercise

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor a praktické parametry malých generátorů se spalovacím motorem
2. Teoretický rozbor pro laboratorní úlohu
3. Praktické měření zatěžovacích charakteristik generátoru

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Doležal, J., Šťastný J. a kol.: Jaderné a klasické elektrárny, ČVUT v Praze, Praha 2011
2. Tlustý J., Kyncl J., Musil, L. a kol.: Monitorování, řízení a chránění elektrizačních soustav, ČVUT v Praze, Praha 2011
3. Mastný P., Drápela J. a kol.: Obnovitelné zdroje elektrické energie, ČVUT v Praze, Praha 2011

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tadeusz Sikora, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2014

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 22.4.2014



.....

(podpis autora)

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce panu ing. Tadeuszovi Sikorovi, Ph.D. za cenné rady a podnětné připomínky, kterými přispěl k vypracování bakalářské práce. Dále děkuji své přítelkyni, rodině a přátelům, kteří mě podporovali.

ABSTRAKT

Předmětem bakalářské práce „Výstupní charakteristiky malého generátoru (elektrocentrály)“ je v první části rozbor generátorů se spalovacím motorem a jeho praktické parametry. Druhá část se zabývá teoretickým rozбором k laboratorní úloze. Hlavním cílem práce je vytvoření laboratorní úlohy na toto téma a praktické měření. Záměrem praktického měření jsou výstupní charakteristiky zdroje při různých zatíženích a to při ohmické, kapacitní a induktivní zátěži. Z praktického měření je zhotoven vzorově vypracovaný protokol.

ABSTRACT

The subject of bachelor's thesis, „Characteristic output of a small generator“, contains analysis of generators with internal combustion engine and its practical parameters in a first part. The second part is about theoretical analysis for laboratory exercise. Primary goal of work is to do a laboratory exercise on this topic and practical measurement as well. Primary target of practical measurement are characteristic output of power supply during ohmic, capacitive and inductive load. From the practical measurement is made exemplary protocol.

KLÍČOVÁ SLOVA

Malý generátor se spalovacím motorem, výkonové číslo, zatěžovací charakteristiky

KEYWORDS

Small generator with a combustion engine, power number, load characteristics

SEZNAM NĚKTERÝCH VYBRANÝCH POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

f_n	jmenovitá frekvence (Hz)
f_0	frekvence naprázdno (Hz)
I_2	zpětná složka proudu (A)
I_n	jmenovitý proud (A)
K_g	výkonové číslo ($MW \cdot Hz^{-1}$)
k_g	výkonový součinitel (-)
M	moment ($N \cdot m$)
M_{max}	maximální moment ($N \cdot m$)
M_z	záběrný moment ($N \cdot m$)
n	otáčky stroje ($ot \cdot min^{-1}$)
n_s	synchronní otáčky stroje ($ot \cdot min^{-1}$)
P_{gn}	jmenovitý výkon generátoru (W)
P_{g0}	výkon při chodu naprázdno (W)
P_n	jmenovitý výkon (W)
s	skluz stroje (-)
s_{zv}	skluz zvratu (-)
U_{ib}	indukované napětí (V)
β	zátěžný úhel ($^\circ$)
Φ_b	budící magnetický tok (Wb)

Obsah

ÚVOD	1
1. TEORETICKÝ ROZBOR.....	2
1.1 MALÝ GENERÁTOR SE SPALOVACÍM MOTOREM.....	2
1.2 ČÁST MOTOR.....	3
1.2.1 Rozdělení.....	3
1.2.1.1 Vznětový motor	4
1.2.1.2 Zážehový motor.....	5
1.2.1.3 Dvoudobý spalovací motor.....	6
1.2.1.3.1 Pracovní fáze dvoudobého spalovacího motoru.....	6
1.2.1.4 Čtyřdobý spalovací motor.....	7
1.2.1.4.1 Pracovní fáze čtyřdobého spalovacího motoru	7
1.2.2 Použití	7
1.3 ČÁST GENERÁTOR	7
1.3.1 Synchronní alternátor.....	8
1.3.1.1 Složení synchronního stroje.....	8
1.3.1.2 Princip činnosti	9
1.3.1.3 Momentová charakteristika.....	9
1.3.1.4 Poruchy alternátoru.....	10
1.3.2 Asynchronní alternátor.....	11
1.3.2.1 Složení asynchronního stroje	11
1.3.2.2 Princip činnosti	12
1.3.2.3 Momentová charakteristika.....	12
2. PRAKTICKÉ PARAMETRY MALÉHO GENERÁTORU SE SPALOVACÍM MOTOREM.....	14
3. TEORETICKÝ ROZBOR LABORATORNÍ ÚLOHY	15
3.1 NÁZEV LABORATORNÍ ÚLOHY	15
3.2 ZADÁNÍ.....	15
3.3 POPIS LABORATORNÍ ÚLOHY	15
3.3.1 Benzínový generátor Güde	15
3.3.2 Benzínový generátor Gesa.....	16
3.4 TEORETICKÝ ROZBOR	18
3.5 SCHÉMA ZAPOJENÍ	21
3.5.1 Měření výstupních charakteristik při ohmické zátěži	21
3.5.2 Měření výstupních charakteristik při induktivní a kapacitní zátěži	21
3.6 SEZNAM POUŽITÝCH PŘÍSTROJŮ	22
3.7 POSTUP MĚŘENÍ:	22
3.8 SEZNAM NAMĚŘENÝCH HODNOT.....	22
3.9 CHARAKTERISTIKY	22
3.10 VYHODNOCENÍ A ZÁVĚR	23
4. PRAKTICKÁ ČÁST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	24
5. ZÁVĚR.....	25
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	26

SEZNAM OBRÁZKŮ	28
SEZNAM TABULEK.....	29
SEZNAM PŘÍLOH	30

ÚVOD

S rozvojem životní úrovně se stupňuje závislost člověka na různých technických zařízeních, z nichž většina potřebuje elektrickou energii. Pokud je k dispozici distribuční síť, je řešení jednoduché. Jestliže k dispozici není, musí se použít jiný zdroj elektrické energie. Pro tyto případy se využívají malé generátory se spalovacím motorem. Jejich výkony se pohybují od stovek wattů až po megawatty. Skládají se z motoru, který se dělí na zážehový nebo vznětový s tím, že mohou být dvoutaktní nebo čtyřtaktní. Jako palivo do motorů se používá benzín, nafta nebo plyn. Druhou částí je generátor, u kterého se volí nejčastěji synchronní nebo asynchronní stroj.

Bakalářská práce se zaměřuje na vytvoření laboratorní úlohy zabývající se jeho chování při ohmickém, kapacitním a induktivním zatížení. Součástí práce je teoretický rozbor zdroje elektrické energie, jeho praktické parametry a praktické měření, z něhož je vypracován protokol. V teoretickém rozboru jsou popsány dvě hlavní části zdroje a to spalovací motor a generátor. V praktických parametrech jsou uvedeny rozsahy hodnot, ve kterých se pohybují. Oddíl teoretického rozboru laboratorní úlohy se zabývá strukturou zpracovaného protokolu a přípravy na měření. V oddílu je uvedena osnova součástí protokolu, které by měl obsahovat. Část teoretický rozbor je orientovaný na výkonové číslo zdroje elektrické energie, který se týká regulace kmitočtu. V pasáži se také uvádí konkrétní typy malých generátorů se spalovacím motorem, které byly proměřovány. Poslední část se zabývá protokolem, který obsahuje veškeré náležitosti jako charakteristiky, výpočty a zhodnocení výsledků se závěrem. Ten je uveden v příloze A.

1. TEORETICKÝ ROZBOR

1.1 Malý generátor se spalovacím motorem

Elektrocentrála nebo také soustrojí motor a generátor je zařízení pevně spojeného motoru a generátoru v jeden celek a chová se jako měkký zdroj, což znamená, že zatížení je závislé na frekvenci a napětí. Používá se především pro výrobu elektrické energie přenosem mechanické energie z motoru na generátor. Použitím vhodného motoru a alternátoru lze docílit libovolného výstupního výkonu elektrické energie.

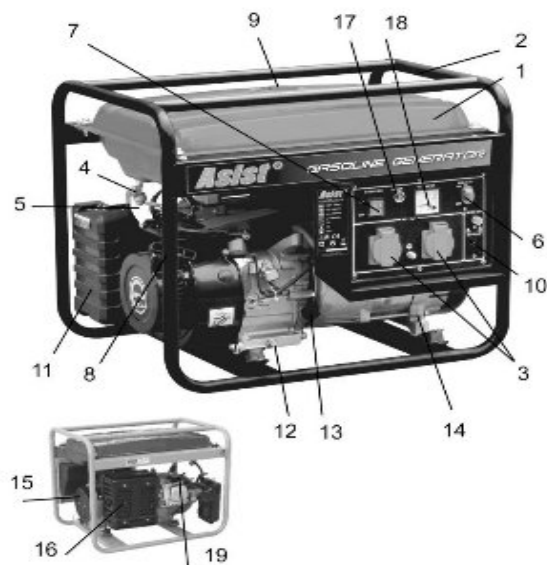
Elektrocentrály rozdělujeme podle rozměrů a účelu použití na mobilní a stacionární.

Mobilní se skládá z trubkového rámu, ve kterém je umístěn pevně spojený motor s generátorem. Hmotnost mobilní elektrocentrály nepřekračuje 100 kg, aby byla zachována její mobilita. Používá se převážně v ostrovním provozu. Bývá především na místech, kde není možnost napájení z elektrické sítě.

Stacionární bývá složena z pevného kvádrovitého rámu na kterém je posazeno motor-generátorové soustrojí. Palivová nádrž je převážně umístěna uvnitř rámu. Hmotnost zařízení se pohybuje nad 150kg. Používá se v první řadě pro zálohu důležitých zařízení, které je nutné udržet v chodu při výpadku elektrické sítě. [12]

Soustrojí funguje na principu vytvoření točivého momentu ve spalovacím motoru a převedení kinetické energie na elektrickou pomocí alternátoru. Může být také vybaveno externí nádrží s automatickým přečerpáváním paliva, čímž se prodlužuje doba chodu zařízení. [5]

1. Víčko nádrže
2. Rukojeť
3. Zásuvka (230V)
4. Palivový kohout
5. Páčka sytiče
6. Jistič
7. Vypínač
8. Startovací rukojeť
9. Uzávěr palivové nádrže
10. Výstup DC napětí
11. Vzduchový filtr
12. Vypouštěcí zátka oleje
13. Kryt olejové filtru
14. Zásuvka uzemnění
15. Alternátor
16. Tlumič výfuku
17. Kontrolka
18. Voltmetr
19. Zapalovací svíčka



obr. 1 Popis malého generátoru se spalovacím motorem [6]

1.2 Část motor

Nejdůležitější součástí motorgenerátoru je motor. Podle používaného paliva lze spalovací generátory rozdělit na benzinové, naftové nebo plynové. Je to tepelný stroj, ve kterém se mění chemická energie na tepelnou spaláním směsi. Při tomto procesu se vytvoří tlak, který působením na píst vytvoří mechanickou energii. [12]

1.2.1 Rozdělení

a) Dle způsobu spalování paliva:

- Zážehové - směs vzduchu a paliva se zapálí elektrickou jiskrou
- Vznětové - do stlačeného vzduchu ohřátého kompresí se vstříkne palivo, které se vznítí

b) Dle použitého paliva:

- Kapalná - jsou nejběžnější
- Plyná - obsahují tlakovou nádrž (zkapalněný plyn však zabírá hodně místa)

c) Dle účelu:

- Stacionární
- Mobilní

d) Dle uspořádání válců:

- Řadové - válce mohou být nad osou hřídele, nebo pod osou hřídele
- Dvouřadové
- S válci do "H"
- S válci do "V" - umožňují výhodně svést výstup na jednu klikovou hřídel
- Hvězdicové - mohou mít několik hvězdic za sebou
- S protilehlými válci - vzájemně se výhodně vyvažují písty

e) Dle způsobu realizace pracovního oběhu:

- Čtyřdobé - jeden oběh, který se skládá ze sání, komprese, expanze a výfuku na čtyři zdvihy (dvě otáčky kliky)
- Dvoudobé - jeden oběh na dva zdvihy (jedna otáčka kliky)

f) Dle způsobu plnění pracovního prostoru:

- Motory bez přeplňování (atmosférické) - sání je vlivem podtlaku
- Motory s přeplňováním - sání je s přetlakem vlivem užitého plnicího dmýchadla

[7]

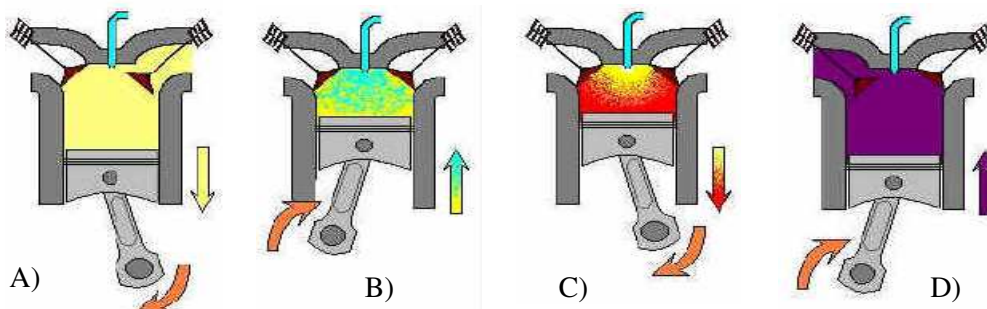
1.2.1.1 Vznětový motor

Tento motor pracuje většinou jako čtyřdobý spalovací motor. V porovnání se zážehovým motorem je do něj palivo dopravováno odděleně od vzduchu. Do spalovacího prostoru motoru je dodáváno speciálním vysokotlakým čerpadlem a vysokotlakým potrubím.

Do spalovacího prostoru se v první řadě nasaje vzduch. Po uzavření sacího ventilu se tento vzduch stlačuje a jeho teplota roste na více než 500 °C. V další sekci vstříkne tryska do válce přesnou dávku jemně rozprášeného paliva (nafty). Nafta začne hořet samovznícením ve vzduchu ohřátém kompresí. Ve fázi expanze je pak vzniklé teplo převedeno na mechanickou práci. Nakonec se otevírá výfukový ventil a spaliny jsou vytlačeny do výfuku.

Vznětové motory se často vybavují mechanickým kompresorem nebo turbodmychadlem. Turbodmychadlo pracuje účinněji jen ve vyšších otáčkách, kdy je rychlost spalín dost vysoká. Kompresor má podobný efekt jako turbodmychadlo, ale funguje účinně i v nízkých otáčkách, neboť je poháněno mechanicky. Nejčastěji je řemenem spojen s motorem.

Vznětové motory se používají k pohánění lodě, lokomotivy, nákladního automobilu, ale i některých osobních automobilů. Dříve sloužily i v letecké dopravě. Stacionární vznětové motory se využívají i pro pohon strojů, které nemají pevný přívod elektrického proudu, případně jako pohon elektrických generátorů (dieselagregáty). [8]



obr. 2 Princip vznětového motoru

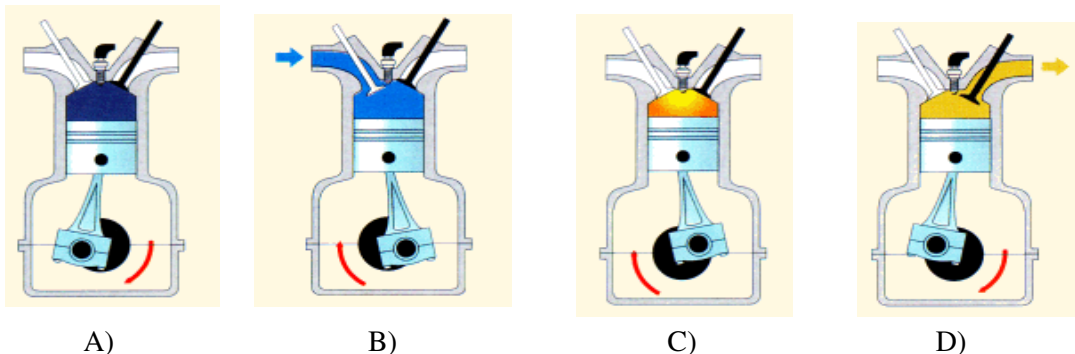
- A) Píst nasává otevřeným ventilem do válce vzduch.
- B) Píst stlačuje vzduch, a tím zvýší jeho teplotu.
- C) Vstříknutá směs se vznítí a vzniklé plyny tlačí píst dolů.
- D) Píst se vrací nahoru a vytlačí spálené plyny. [9]

1.2.1.2 Zážehový motor

Zážehový motor je spalovací motor, u něhož je směs paliva a vzduchu ve válci zážehnuta elektrickou jiskrou, kterou vytvoří zapalovací svíčka. Tím se liší od vznětového motoru, kde dochází k samovznícení vstříknutého paliva díky teplotě stlačeného vzduchu. U spalovacích motorů se tepelná energie mění na mechanickou. Pro správnou funkci je důležitá odolnost paliva proti samovznícení, kterou udává oktanové číslo.

Zážehový motor je v současné době bezesporu nejužívanějším a nejrozšířenějším tepelným strojem na světě. Běžně je používán jako pohonný agregát osobních i některých nákladních automobilů a je i součástí čerpadel.

Rozlišujeme je na dvoutaktní a čtyřtaktní. Jako palivo se zde používá benzin. U čtyřtaktů je benzin bez příměsí, ale v benzínu pro dvoutakty musí být obsaženo olovo.



obr. 3 Princip zážehového motoru [10]

- A) **Sání** - Píst se posouvá do dolní úvrati. Nad pístem vznikne podtlak, který způsobuje, že se směs paliva a vzduchu dostane otevřeným sacím ventilem do prostoru válce.
- B) **Stlačování** - Píst se posune do horní úvrati a směs je stlačována až na 1,1 MPa. Předtím, než dosáhne horní úvrati (předstih) přeskočí na elektrodách zapalovací svíčky elektrická jiskra, od které se směs zapálí.
- C) **Rozpínání** - Hořením směsi vzniká teplota až 4 000°C, jež způsobí, že tlak stoupne až na hodnotu 5 MPa. Rozpínající se plyn tlačí na píst.
- D) **Výfuk** - Před dolní úvratí se zároveň začne otevírat výfukový ventil a spálené plyny odcházejí výfukovým potrubím z motoru do okolí. [10]

1.2.1.3 Dvoudobý spalovací motor

Přívod zápalné směsi obstarávají píst a kanály. Píst při svém pohybu otevírá a zavírá kanály. U novějších motorů ovládá sání pod píst šoupátkový rozvod nebo klapky. Mazání dvoudobého motoru je prováděno olejem rozpuštěným v palivu. Tlakové oběhové mazání, které se používá u čtyřdobých motorů, nelze použít, protože na pracovním cyklu se podílí i dolní plocha pístu.

Dvoudobé motory mají nižší účinnost než čtyřdobé, což je z části způsobeno mícháním zápalné směsi a výfukových plynů. U dvoudobých spalovacích motorů záleží na tvaru, délce a průměru výfuku, který ovlivňuje vyplachování spalovacího prostoru čistou směsí. Při stejných otáčkách však mohou mít vyšší výkon, protože za stejnou dobu dojde ke dvojnásobnému počtu pracovních cyklů. Díky jednodušší konstrukci jsou také při stejném výkonu lehčí a mají obvykle větší měrný výkon. V současné době jsou ale na ústupu právě pro svou nižší účinnost a hlavně pro znečištění, způsobené olejem v palivu.

1.2.1.3.1 Pracovní fáze dvoudobého spalovacího motoru

Sání a komprese - Píst se pohybuje od dolní úvrati směrem k horní úvrati. V klikové skříni vzniká podtlak a tím se nasaje do klikové skříně zápalná směs. Během pohybu pístu nahoru se uzavírá výfukový a přepouštěcí kanál. Směs v prostoru nad pístem (byla připravena dříve během druhé fáze) se stlačuje, nastává komprese a pod pístem probíhá důsledkem podtlaku sání.

Expanze a výfuk - Těsně před horní úvratí přeskočí jiskra, nastává zážeh a expanze. Expanzí je píst tlačěn z horní úvrati do úvrati dolní. Spodní hrana pístu uzavírá sací kanál. Směs v klikové skříni se pohybem pístu stlačuje. Při dalším pohybu pístu otevírá pravá horní hrana pístu výfukový kanál a vzápětí na to otevírá horní hrana pístu i přepouštěcí kanál a stlačená směs začne vytlačovat zbytky zplodin a dostává se do prostoru nad píst.

1.2.1.4 Čtyřdobý spalovací motor

Ve čtyřdobém zážehovém motoru nastávají procesy, které se pravidelně opakují po každých dvou otáčkách klikové hřídele. Jeden uzavřený oběh nese název pracovní oběh motoru a je složen ze čtyř zdvihů pístu. Většinou je vybaven v každém válci jedním sacím a jedním výfukovým ventilem. Sacím ventilem je ovládán vstup a plnění válce zápalnou směsí. Výfukový ventil pak řídí vypouštění spalín z válce. [11]

1.2.1.4.1 Pracovní fáze čtyřdobého spalovacího motoru

Sání - Píst se pohybuje směrem dolů, přes sací ventil je nasávána pohonná směs

Komprese - Píst se pohybuje směrem vzhůru. Oba ventily jsou uzavřené. Nasátá směs zmenšuje svůj objem, zvětšuje tlak a teplotu. Těsně před horní úvratí je směs zapálena elektrickou jiskrou

Expanze - Oba ventily jsou uzavřené. Směs paliva a vzduchu zapálená elektrickou jiskrou shoří. V pracovním prostoru válce se prudce zvýší teplota i tlak vzniklých plynů. Ty expandují a během pohybu pístu směrem dolů konají práci.

Výfuk - Píst se pohybuje směrem vzhůru. Výfukový ventil je otevřený. Spaliny z pracovního prostoru válce jsou vytlačovány do výfukového potrubí. [8]

1.2.2 Použití

Každý typ má své výhody i nevýhody a každý je předurčen pro určité použití. Nejčastěji se aplikuje benzinový a naftový motor. Benzinový (zážehový) motor se používá především pro menší elektrocentrály díky své nižší hmotnosti, snadnější startovatelnosti, nižší hlučnosti a levnější ceně. Nevýhodou bývá v porovnání s naftovým motorem kratší životnost, menší spolehlivost při startu i při chodu a nutnost použití sytiče při studeném startu. Naftový motor se vyskytuje spíše u větších motorgenerátorů a to především tam, kde je požadavek na dlouhé doby provozu a bezproblémový start. [12]

1.3 Část generátor

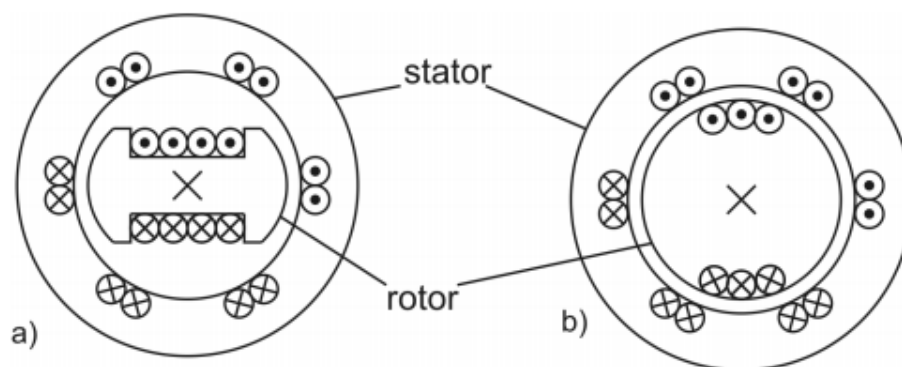
Zdroje elektrické energie v motorgenerátorech mohou být alternátory nebo dynama. Alternátory máme synchronní, jenž se používají nejčastěji také v elektrizační soustavě a asynchronní, které díky své jednodušší konstrukci začínají nahrazovat v některých oblastech synchronní stroje.

1.3.1 Synchronní alternátor

Synchronní generátor je základní elektromechanický měnič energií při generaci elektrické energie ve větších výrobních jednotkách. Jsou charakteristické tím, že nemění otáčky se změnou zátěže, ale mají meze zatížení pro zachování stability. Podle otáček a provedení se člení na dvě základní skupiny.

První provedení je takzvaný vysokorychlostní generátor poháněný plynovou turbínou a tvořen hladkým rotorem s co nejmenším možným průměrem rotující částí, čímž se docílí minimalizace odstředivých sil, velkou osovou délkou a horizontálním uspořádáním. Typově se používají dvoj a čtyřpólové stroje. U generátorů pro síť 50 Hz jsou otáčky $3000 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$ nebo $1500 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$ (obr. 4).

Druhým provedením je nízkorychlostní generátor poháněný vodní turbínou mívající otáčky na úrovni $500 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$ a nižší, větší počet vyniklých pólů a menší osovou délku s vertikálním uspořádáním (obr. 4).



obr. 4 Provedení synchronního stroje s hladkým rotorem a) a vyjádřenými póly b) [1]

1.3.1.1 Složení synchronního stroje

Synchronní stroj má dvě hlavní části: rotor a stator. Obě části jsou vybaveny vinutím. Vinutí statoru je umístěno v drážkách rozmístěných podél jeho vnitřního obvodu a je složeno ze tří fragmentů patřících jednotlivým fázím. Budící vinutí turbogenerátoru je umístěno podobným způsobem v drážkách na rotoru, zatímco v případě hydrostrojů na vyniklých pólech rotoru, který je navíc vybaven tlumícím vinutím (amortizérem) tvořeného vodivými klíny v drážkách budícího vinutí. U hydrostrojů se umísťuje do osových drážek v pólových nástavcích. [1]

1.3.1.2 *Princip činnosti*

Stejnoseměrný budicí proud točivého se rotoru vyvolá ve stroji točivé magnetické pole, které naindukuje v každé ze tří fází statorového vinutí napětí, které protlačí v případě uzavřeného obvodu statoru třífázový proud, který prostorovým součtem okamžitých hodnot vytvoří své vlastní točivé magnetické pole. Toto točivé magnetické pole statoru se sečte s tokem rotoru ve výsledný tok. Ten se otáčí synchronně s rotorem a synchronní úhlovou rychlostí vůči statoru. To znamená, že se stator za rotorem nezpožďuje.

Jelikož se podle Lenzova indukčního zákona relativním pohybem vodiče a magnetického pole indukuje ve vodiči napětí, měl by být stator pro omezení vzniku vířivých proudů složen z plechů. V tlumícím vinutí rotoru se začnou podle stejného principu indukovat tlumicí proudy v tom případě, že se úhlová rychlost rotoru z nějaké příčiny odchýlí od úhlové rychlosti aktivní sítě, do které stroj pracuje. Tyto proudy vyvolají magnetický tok a tím i moment opačného směru. [1]

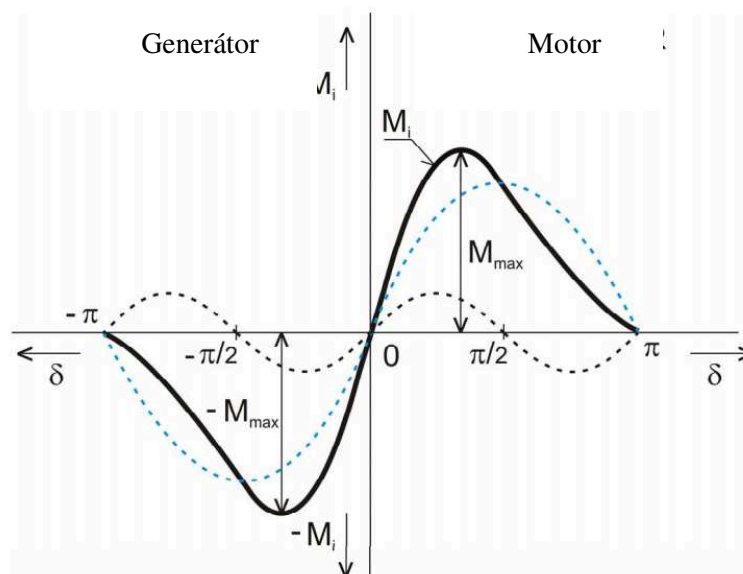
1.3.1.3 *Momentová charakteristika*

U synchronních strojů nelze vytvořit momentovou charakteristiku závislosti momentu na otáčkách, protože otáčky jsou konstantní, a proto se zavádí zátěžný úhel. V případě synchronních strojů je tedy zatěžovací charakteristika sestrojena v závislosti momentu na zátěžném úhlu.

Zátěžný úhel je úhel mezi budícím tokem Φ_b a výsledným tokem stroje. Poloha toku Φ_b je určena z polohy rotoru, tedy zátěžný úhel je úhel, o který rotor u generátoru předbíhá výsledný tok stroje, respektive o který se u motoru zpožďuje za výsledným tokem. Mezi statorem a rotorem existují pružné silové vazby. Mechanická představa by mohla vypadat tak, jako když v případě generátoru rotor táhne na pružině silových vazeb stator jako točící se mezikružší.

Zátěžný úhel je závislý na velikosti momentu na hřídeli a tedy i na předávaném výkonu stroje. V případě generátoru předbíhá rotor výsledné točivé pole a u motoru se rotor zpožďuje. Stroj se ustálí na zátěžném úhlu β_1 , při kterém platí rovnováha momentů. Budeme-li zvyšovat moment turbíny, bude se zátěžný úhel zvyšovat. Při $M = M_{max}$ dosáhne tento úhel hodnoty $\beta = 90^\circ$ a další zvýšení momentu způsobí výpadek ze synchronismu.

U generátoru tak dojde ke zvýšení otáček stroje a motor se v tomto případě zastaví. Vždy se jedná o těžkou poruchu a je nutné stroj ihned odstavit. Maximální úhel, se kterým je stroj schopen stabilně pracovat, je 90° . Tento úhel je nazýván mezí statické stability. Maximální moment lze měnit pouze buzením, kdy se mění velikost U_{ib} . Ostatní veličiny ve vztahu pro M_{max} jsou pro stroj. [18]



obr. 5 Momentová charakteristika synchronního stroje [13]

Moment synchronního stroje je složen ze synchronního a reakčního momentu. Synchronní je na obrázku značen modrou čerchovanou čarou a reakční černou čerchovanou čarou. Výsledný moment je pak vymezen plnou černou čarou. Synchronní moment závisí na buzení a zátěžném úhlu β , zatímco reakční se odvíjí od rozdílu reaktancí X_d (podélná reaktance) a X_q (příčná reaktance) a $\sin(2\beta)$. Vlevo od osy y pracuje stroj jako generátor a vpravo od osy y pracuje stroj jako motor.

1.3.1.4 Poruchy alternátoru

Na generátoru se mohou objevit poruchy, které dělíme na dvě skupiny a to izolační a nenormální podmínky chodu. Izolační poruchy se mohou vyskytnout v rotoru nebo statoru. Na rotoru vzniká zkrat vnější, vnitřní, závitový, zemní spojení a dvojité zemní spojení (dvojfázový zkrat). U rotoru se může vyskytnout závitový zkrat, zemní spojení, druhé zemní spojení a ložiskové proudy.

Nenormální podmínky chodu se tvoří ve statoru, rotoru a pohonu. Ve statoru je to přetížení, přepětí, samobuzení a podsynchronní otáčky. U rotoru se může vyskytnout ztráta buzení nebo nesouměrnost. V pohonu se může objevit zpětný tok výkonu, nadsynchronní otáčky, posuny rotoru, kmitání stroje a strojní poruchy turbíny.

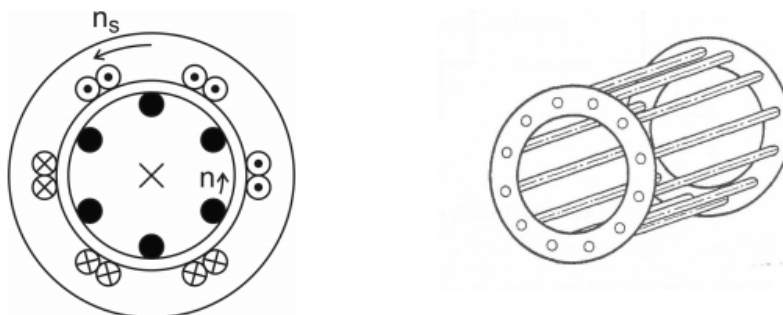
Točivé stroje jsou navrženy na určitou odolnost proti zkratovým proudům a nadproudům, kterou upravuje norma ČSN EN 60034-1. Generátor musí odolat zkratovému proudu po dobu minimálně tří sekund. V případě trojfázového zkratu při jmenovitém napětí nesmí vrcholová hodnota proudu překročit patnáctinásobek vrcholové hodnoty nebo 21-násobek efektivní hodnoty jmenovitého proudu stroje. Proudová přetížení musí vydržet 1,5 násobek jmenovitého proudu po minimální dobu. Tato doba je u generátoru do výkonu 1200 MVA 30 sekund a u generátorů nad 1200 MVA 15 sekund.

Synchronní generátor je díky své konstrukci sám o sobě zdrojem nesymetrie. Při nesymetrických poruchách navíc vznikají další nesymetrie a to zejména zpětná složka proudu, která může způsobit nebezpečné oteplení vinutí stroje. Odolnost (maximální hodnota I_2/I_n) při nevyvážených podmínkách je u generátoru pro trvalý provoz 0,08. [2]

1.3.2 Asynchronní alternátor

Pro malé zdroje elektrické energie, poháněné vodou nebo větrem se místo drahých synchronních strojů používají asynchronní motory v generátorovém režimu. Výkon jde v obráceném směru, skluz tedy musí nabývat záporných hodnot. [15]

Asynchronní elektrický stroj je mechanicky nejjednodušší a má větší životnost. Známe dva základní typy. Prvním je motor s klecovou kotvou nakrátko (obr.6), který se používá nejčastěji a jehož rotor není elektricky propojen s nepohyblivými částmi. Ten je složen z hliníkových tyčí. Druhým typem je motor s kroužkovou kotvou (obr.6), který se používá pro speciální účely. Jeho rotorové vinutí je vyvedeno kluznými kroužky.

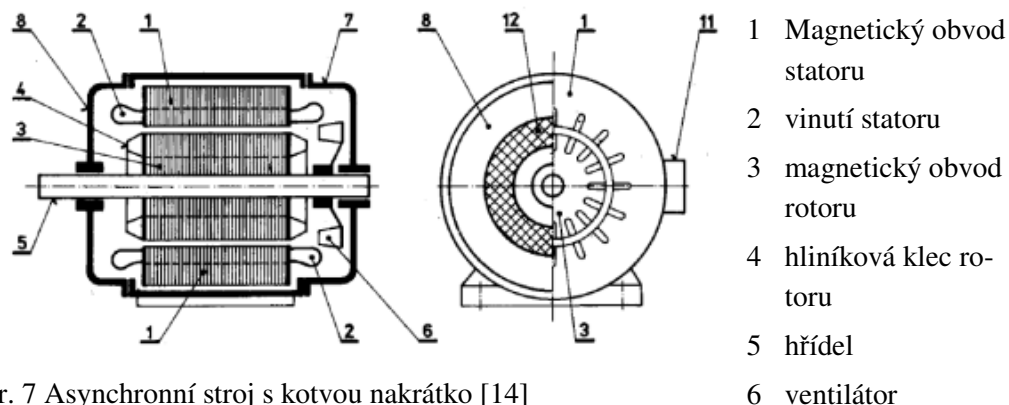


obr. 6 Vlevo uspořádání rotoru a statoru asynchronního stroje a vpravo klec nakrátko

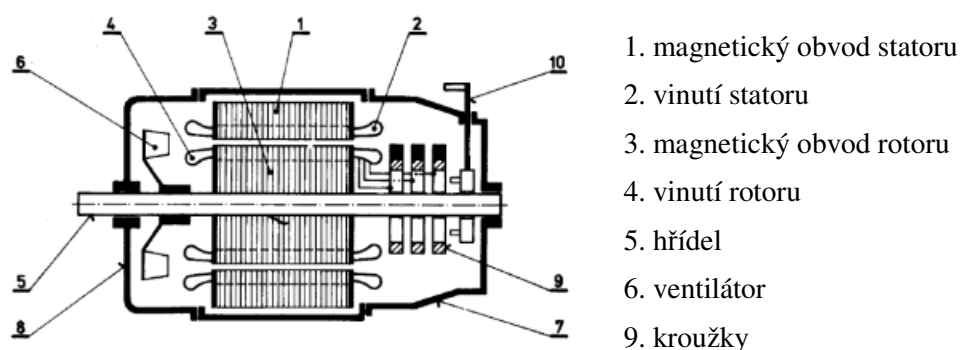
[15]

1.3.2.1 Složení asynchronního stroje

Stator asynchronního generátoru je zkonstruován z plechů s drážkami, ve kterých je trojfázové vinutí. Podle rotoru se asynchronní stroje dělí na stroje nakrátko (obr.7) a kroužkové (obr. 8). Rotor asynchronního stroje nakrátko je složený z plechů a v drážkách má klecové vinutí, spojené právě nakrátko. Rotor kroužkového stroje (nepoužívají se u alternátorů) se od rotoru stroje nakrátko liší trojfázovým vinutím zapojeným do hvězdy a sběracím ústrojím (kroužky a uhlíkové kartáče). [14]



obr. 7 Asynchronní stroj s kotvou nakrátko [14]



obr. 8 Asynchronní stroj s kroužkovou kotvou [14]

1.3.2.2 Princip činnosti

Při změně statorového magnetického toku se v rotoru naindukuje napětí a vinutím (klecí) rotoru začne procházet proud. Statorové pole silově působí na vodiče rotoru, kterými prochází proud a rotor se otáčí asynchronními otáčkami, tedy rotor se za statorem zpožďuje. Rychlost otáčení rotoru je tedy $n < n_s$ a poměrný rozdíl těchto otáček se nazývá skluz.

Skluz je dán vztahem:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \quad (-) \quad (1)$$

n_ssynchronní otáčky

n otáčky rotoru (nižší než synchronní otáčky u motoru u generátoru vyšší) [15]

1.3.2.3 Momentová charakteristika

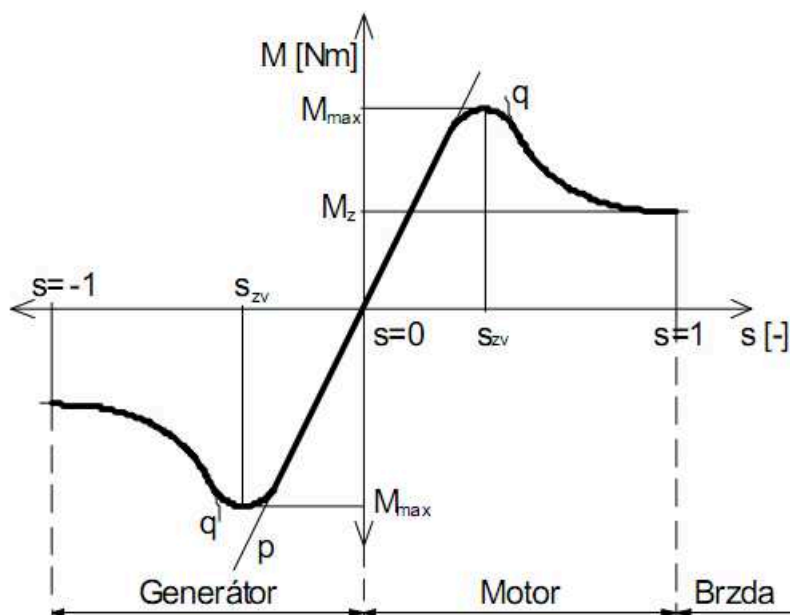
Důležitou součástí asynchronního stroje je momentová charakteristika, která představuje závislost momentu na otáčkách podle Klossova vztahu:

$$M = \frac{2 \cdot M_{MAX}}{\frac{s_{zv}}{s} + \frac{s}{s_{zv}}} \quad (N \cdot m) \quad (2)$$

, kde s_{zv} je skluz zvratu, tedy skluz při maximálním momentu a s je jmenovitý skluz.

Moment motoru je v lineární části charakteristiky přímo úměrný velikosti skazu. Motor se rozbíhá se záběrným momentem M_z , poté moment roste, jelikož se zvyšuje činná složka proudu. Ta roste, protože se snižuje impedance a zvyšuje se účinnost stroje. Moment stroje se zvyšuje až do maximální hodnoty momentu, jenž nastává při skazu zvratu a poté, co překročí tuto hodnotu, klesá, neboť se snižuje indukovaný proud.

Otáčky na hřídeli n jsou vyšší, než otáčky synchronní. Asynchronní generátor má samo-regulační schopnost držet otáčky. Podmínkou je jeho stálé připojení k síti, odkud čerpá jalový výkon potřebný k magnetizaci magnetického obvodu motoru. Proto asynchronní generátor nemůže pracovat jako nezávislý zdroj elektrické energie.



obr. 9 Momentová charakteristika asynchronního stroje [3]

2. PRAKTICKÉ PARAMETRY MALÉHO GENERÁTORU SE SPALOVACÍM MOTOREM

Parametry generátoru se udávají ve jmenovitých hodnotách, vybírají se podle použití a rozdělují se na parametry generátoru a parametry spalovacího motoru.

Generátor se rozlišuje na synchronní a asynchronní. V popisu soustrojí se uvádí konkrétní model výrobce. Důležitým rozměrem u alternátoru je jmenovitý výkon a ten se pohybuje od řádu stovek wattů až kilowattů. Dále se dělí podle počtu fází na jednofázové a třífázové. Od tohoto se potom odvíjí jmenovité napětí, které je s frekvencí 50 Hz u jednofázových 230 V a u třífázových 400 V. Jmenovitý proud se pohybuje od jednotek až do stovek ampér.

Motor rozlišujeme podle taktů na dvoutaktní a čtyřtaktní a podle použití paliva na benzinové, naftové a plynové. Tyto údaje se uvádí v druhu spalovacího motoru. Součástí rozměrů jsou ještě objem motoru, chlazení, startování, hlučnost, spotřeba, otáčky, objem palivové nádrže a olej. Objem motoru se pohybuje v rozmezí desítek až stovek cm³. Chlazení stroje může být vzduchem nebo kapalinou. Startování je závislé na použitém motoru. U menších soustrojí se startuje pomocí lana, jak tomu bývá u malých zahradních sekaček, u větších benzinových a menších naftových se používá elektrický startér a u větších elektrocentrál již kvůli velkému kompresnímu poměru v motoru nelze startovat lanem, a proto jsou od určitého výkonu automaticky osazovány elektrickým startérem. Hlučnost je u přenosných generátorů v desítkách dB. U stacionárních bývá i vyšší než 100 dB, a proto je u nich nutné dbát na hlukové hygienické normy v daném prostředí. Spotřeba paliva se udává v litrech za hodinu, určuje se při jmenovitém zatížení a pohybuje se od desetin litru na hodinu. Otáčky jsou v jednotkách tisíců ot/min. Objem palivové nádrže u malých generátorů je v jednotkách litrů. Další součástí je také třída ochrany IP, která je dána z normy ČSN EN 60 529. U většiny přenosných generátorů se používá IP 23, které je ochranou proti vniknutí cizorodých předmětů větších než 12,5 mm a ochranou proti vodě, která v úhlu do 60 stupňů padá oboustranně ke kolmici. Účinnost soustrojí motorgenerátor dosahuje hodnoty od 0,8 až 1 a hmotnost může dosáhnout až desítky kilogramů.

3. TEORETICKÝ ROZBOR LABORATORNÍ ÚLOHY

3.1 Název laboratorní úlohy

Výstupní charakteristiky malého generátoru se spalovacím motorem

3.2 Zadání

1. Změřte zatěžovací charakteristiky zážehového generátoru Gesan při ohmickém induktivním, kapacitním zatížení a v zapojení s kombinací ohmické s kapacitní a ohmické s induktivní zátěží a to s nižší a vyšší hodnotou odporu.
2. Změřte zatěžovací charakteristiky zážehového generátoru Güde při ohmickém zatížení.
3. Vyhotovte zatěžovací charakteristiky v obou případech a porovnejte je s výstupními charakteristikami sítě.
4. Určete tvrdost zdroje z výkonového čísla při činném zatížení.
5. Vypočítejte celkovou elektrickou účinnost přeměny chemické energie vázané v palivu na elektrickou energii na svorkách zdroje při činném zatížení (celkovou elektrickou účinnost generátoru), pokud uvažujeme provoz zdroje na jmenovitý výkon (trvalé jmenovité zatížení generátoru) se spotřebou paliva u Güde $0,7 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$ a u Gesan $0,9 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$ o výhřevnosti $H_u = 42\,900 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ (oktanové číslo 95) a s měrnou hmotností (hustotou) $\rho = 0,746 \text{ kg} \cdot \text{l}^{-1}$.

3.3 Popis laboratorní úlohy

3.3.1 Benzínový generátor Güde

Je to přenosný generátor proudu kategorie hobby, který je určený k provozu elektrospotřebičů nebo osvětlení na chatě, zahradě, při kempování apod. Trvalý výkon generátoru je 650 W, obsahuje jednu zásuvku a to 230 V ~ 50 Hz. Jako pohonná jednotka je použit dvoutaktní motor. Generátor proudu je synchronní stroj. Stroj obsahuje tepelnou ochranu proti přetížení výstupních obvodů, opěrné nožky s gumovými patkami a transportní rukojeť. Pro dvoutaktní motory GÜDE se používá směs benzín Natural 95 ředěný olejem řady Castrol, Stihl, Husqvarna nebo jiné kvalitní oleje. Poměr ředění je 1 : 50.

tab. 1 Parametry benzínového generátoru Güde GSE 950

Model	GSE 950
Druh spalovacího motoru	Zážehový dvoutaktní
Jmenovité otáčky	3 000 ot/min
Jmenovité výstupní napětí	230 V
Maximální výstupní proud	2,8 A
Maximální výstupní zdánlivý výkon	650 VA
Jmenovitá výstupní frekvence	50 Hz
Spotřeba paliva při jmenovitém zatížení	0,7 l/h
Kapacita palivové nádrže	4,0 l
Třída ochrany IP	23
Hmotnost	20 kg
Hladina akustického tlaku L_{PA}	80 dB (A)
Hladina akustického výkonu	93 dB (A)



obr. 10 Güde GSE 950 [16]

3.3.2 Benzínový generátor Gesan

230 V generátory značky Gesan se mohou používat pro napájení lehkého ručního nářadí a těžších stavebních strojů. Jsou vybaveny motory Honda nebo Vanguard a italskými alternátory Tekel. Model G3000HK je jednofázová elektrocentrála o výkonu 2,2 kW s motorem

HONDA GX160, nízkou spotřebou (0,9 l/h) a tepelným jističem. Soustrojí ještě obsahuje volitelný podvozek, dvě zásuvky na 230 V a tepelnou ochranu.

tab. 2 Parametry benzínového generátoru Gesan G3000HK

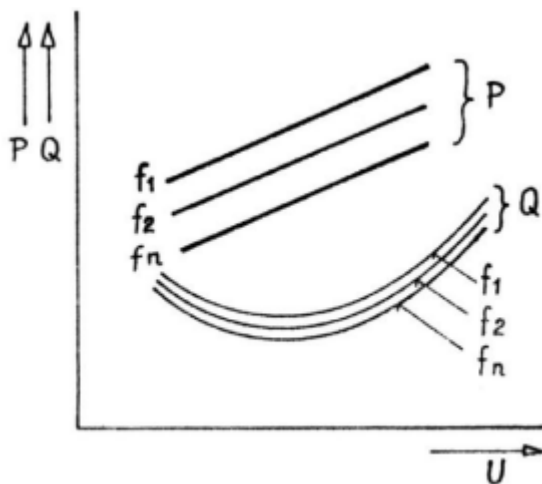
Model	G3000HK
Druh spalovacího motoru	Zážehový čtyřtákní
Jmenovité otáčky	3 000 ot/min
Jmenovité výstupní napětí	230 V
Maximální výstupní proud	10,4 A
Maximální výstupní zdánlivý výkon	2,4 kVA
Jmenovitá výstupní frekvence	50 Hz
Spotřeba paliva při jmenovitém zatížení	0,9 l/h
Kapacita palivové nádrže	3,6 l
Třída ochrany IP	21
Hmotnost	36 kg
Hladina akustického tlaku L_{PA}	73 dB (A)
Hladina akustického výkonu	93 dB (A)



obr. 11 Gesan G3000HK [17]

3.4 Teoretický rozbor

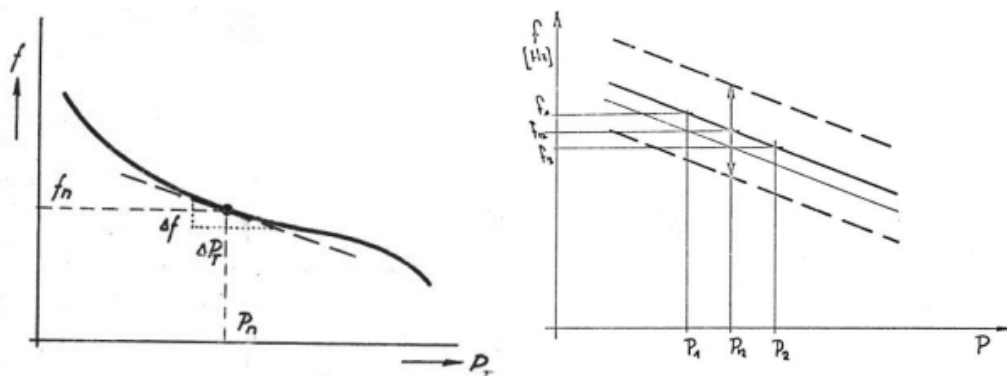
V elektrizační soustavě nebo obecně u zdroje elektrické energie jsou stěžejními parametry frekvence (globální parametr) a velikost napětí (lokální parametr). Jinými měřítky jsou obsah vyšších harmonických nebo případné nesymetrie napětí. Z důvodu změn těchto parametrů se provádí regulace frekvence a velikost napětí (viz. obr. 12).



obr. 12 Regulace frekvence a velikosti napětí [4]

Na obrázku lze vidět, že činný výkon je výrazně citlivější na změnu frekvence a relativně méně na velikosti napětí, zatímco u jalového výkonu je to přesně naopak. Z tohoto lze odvodit vliv činného výkonu na frekvenci a jalového výkonu na napětí.

V regulované soustavě je změna zatížení nebo velikosti zdrojů spjata se změnou frekvence podle charakteristik zdrojů a zátěže. Statické charakteristiky jsou dány primárními regulátory otáček turbín.



obr. 13 Statické charakteristiky zdrojů [4]

Charakteristika soustavy je dána součtem všech zdrojů jejichž průběh lze získat při poměrném zatížení výroben pouze experimentálně, proto se pro linearizaci v pracovním bodě definuje výkonové číslo zdrojů:

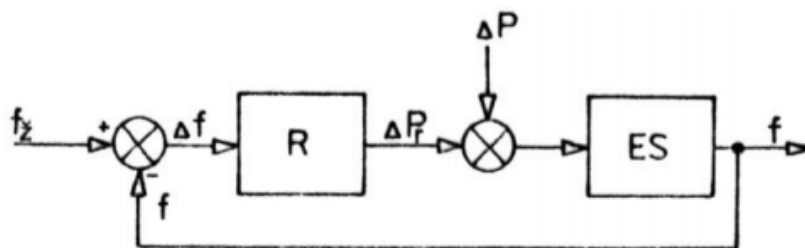
$$K_g = \frac{\Delta P_g}{\Delta f} = \frac{P_{gn} - P_{g0}}{f_n - f_0} \quad (MW \cdot Hz^{-1}) \quad (3)$$

Pro určení statiky zdrojů se zavádí součinitel statismu zdrojů a je dán vztahem:

$$k_g = - \frac{\frac{\Delta P_g}{\Delta f}}{\frac{P_{gn}}{f_n}} = K_g \cdot \frac{f_n}{P_n} \quad (-) \quad (4)$$

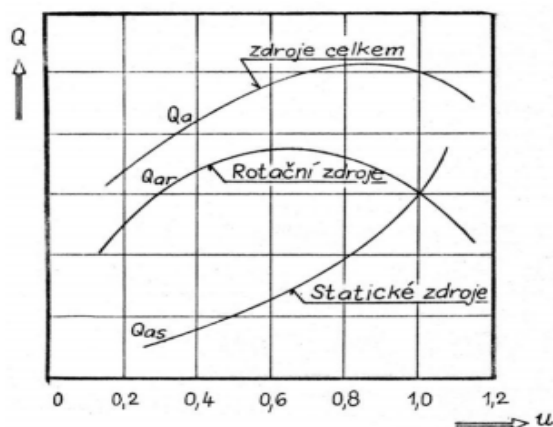
Pokud je výkonový součinitel například $k_g = 20$, znamená to, že při změně zatížení o 20% se změní kmitočet o 1%. Tyto úvahy platí pro generátory pracující do vlastní, izolované soustavy. Výkonové číslo a výkonový součinitel jsou definovány v rozsahu zatížení do jmenovité hodnoty. U tvrdého zdroje je závislost frekvence na zátěži (viz. obr. 13) velmi malá, proto je výkonové číslo vysoké.

V regulovaných elektrizačních soustavách je nadbytek a nedostatek výkonu vyrovnáván automatickou tzv. sekundární regulací a je udržován posunem statické charakteristiky primárního regulátoru.



obr. 14 Regulace výkonu [4]

Usměrňování napětí je dáno rovnováhou mezi dodávaným a spotřebovaným jalovým výkonem v jednotlivých místech elektrizační soustavy. Udržení hladiny napětí je podstatné pro udržení správné funkce a životnosti spotřebičů a udržení stability výkonu. U neregulované soustavy je změna jalového zatížení spojena se změnou napětí podle charakteristik zdrojů.

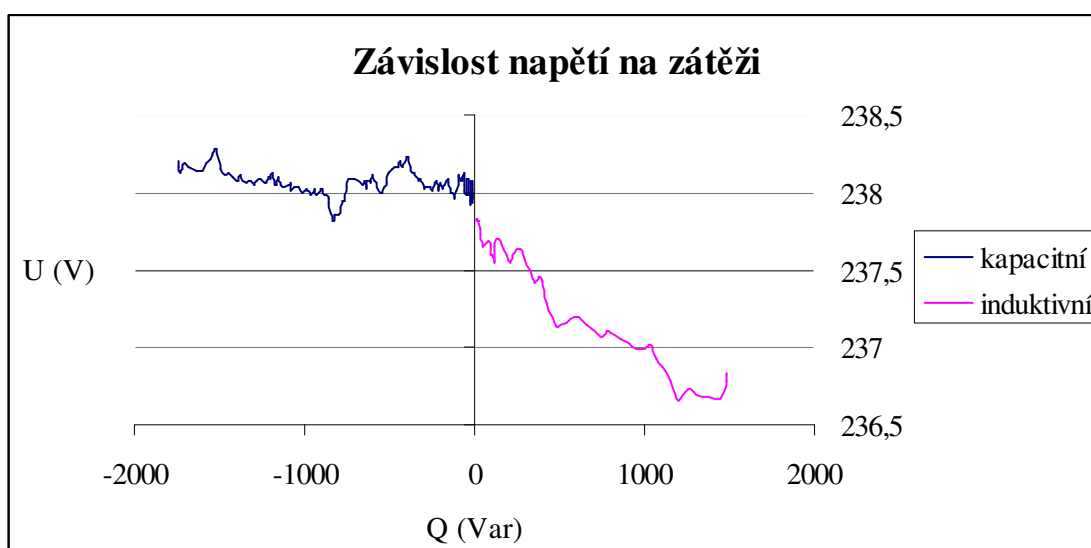


obr. 15 Závislost jalového výkonu na napětí [4]

U tvrdého zdroje se napětí se změnou zatížení příliš nezmění (viz. obr. 16) a výkonové číslo je z vyplývajícího vzorce (3) velmi vysoké, protože se frekvence se změnou velikosti zátěže nemění. Část naměřených hodnot je uvedena v tab. 3.

tab. 3 Naměřené hodnoty pro tvrdý zdroj

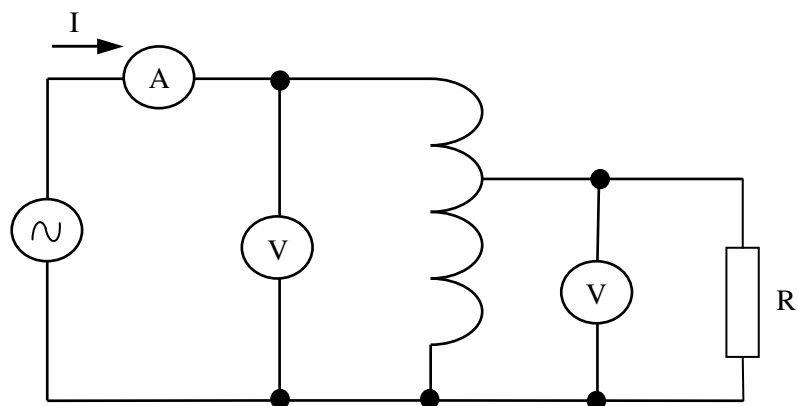
Kapacitní		Induktivní	
Q (Var)	U (V)	Q (Var)	U (V)
-60,26	253,12	197,52	249,09
-59,85	251,87	204,84	250,00
-64,90	254,90	212,76	247,74
-67,47	255,42	221,69	246,39
-69,17	254,98	245,38	248,08
-72,37	255,82	266,68	247,79
-75,39	255,27	282,55	247,49
-77,22	254,34	290,06	246,09
-84,04	256,05	297,67	244,48
-87,04	254,36	316,56	246,16
-95,58	255,30	324,11	245,28
-100,29	254,45	331,21	243,23
-106,30	253,29	339,60	242,97
-115,14	255,57	349,32	244,10
-120,13	258,41	355,23	244,57
-123,29	258,74	364,13	245,29
-122,46	258,37	366,56	243,21
-118,18	255,91	371,84	242,78
-120,27	257,11	374,42	242,61
-124,43	258,07	376,59	241,77



obr. 16 Závislost napětí na změně zatížení tvrdého zdroje

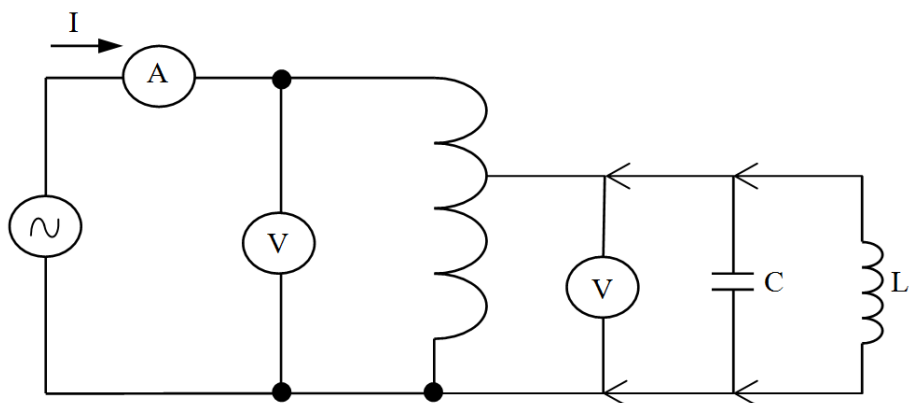
3.5 Schéma zapojení

3.5.1 Měření výstupních charakteristik při ohmické zátěži



obr. 17 Schéma zapojení při ohmické zátěži

3.5.2 Měření výstupních charakteristik při indukční a kapacitní zátěži



obr. 18 Schéma zapojení při indukční a kapacitní zátěži

3.6 Seznam použitých přístrojů

Zde budou uvedeny veškeré náležitosti týkající se použitých přístrojů. V této laboratorní úloze budou použity tyto přístroje:

Analyzátor sítí BK-ELCOM - ENA330; 180 -265V AC; 47 - 63Hz; 20VA

Autotransformátor ESS 106 - 230/250 V; 7/6,3 A; 50 – 60 Hz

Reostat - (105Ω)

Tlumivka s přepínatelnými odbočkami - evidenční č. 541/435

Kondenzátor

3.7 Postup měření:

Zapoj obvod (viz obr. 12) a nastartuj elektrocentrálu pomocí startovacího lana.

Měř plynule výstupní hodnoty až po maximální proud, který má soustrojí motorgenerátor udávaný výrobcem. Proud nastavuj pomocí autotransformátoru.

Při Druhém měření zapoj obvod (viz obr. 13). Připoj kondenzátor a proměřuj zatěžovací charakteristiky stejným způsobem jako při ohmické zátěži. Vyměň kondenzátor za tlumivku a postupuj stejně jako v předcházejících případech.

V dalším bodě ke kondenzátoru a poté k tlumivce přiřaď odpor nejdříve s nižší a po té s vyšší hodnotou. Měření opakuj i pro další vybraný generátor se spalovacím motorem.

Při měření kontroluj jmenovité hodnoty udávané na štítku, aby nebyly překročeny a to především u zapojení s kondenzátorovým zatížením.

3.8 Seznam naměřených hodnot

Zde budou uvedeny veškeré tabulky naměřených hodnot, zjištěných při měření malého generátoru se spalovacím motorem s ohmickou, kapacitní indukivní zátěží a hodnoty z měření při kombinaci ohmové s indukivní a ohmové s kapacitní zátěže.

3.9 Charakteristiky

Z tabulek zde budou zhotoveny výstupní grafy elektrocentrály a to závislosti frekvence na změně velikosti zatížení a závislosti napětí na změně zatížení.

3.10 Vyhodnocení a závěr

Ve vyhodnocení bude uvedeno zhodnocení naměřených hodnot, porovnání zatěžovacích charakteristik mezi oběma vybranými typy elektrocentrál, chyby, kterých bylo dopuštěno při měření a popřípadě návrh na jejich omezení. Dále zde bude srovnání výstupních grafů s tvrdým zdrojem (sítí). V závěru budou uvedeny a srovnány konkrétní výsledky měření a to porovnání výkonových čísel, účinností a hodnot vyplývajících ze sestrojených charakteristik.

4. PRAKTICKÁ ČÁST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Vzorově vypracovaný protokol je v příloze A.

5. ZÁVĚR

Z praktického měření laboratorní úlohy na téma výstupní charakteristiky malého generátoru se spalovacím motorem bylo zjištěno, že tento zdroj elektrické energie se chová jako měkký zdroj, protože se při změně zatížení mění napětí i frekvence. Tvrdost zdroje byla určena z výkonového čísla a vyšla u typu Gesan G3000HK $800 \text{ W} \cdot \text{Hz}^{-1}$ a u typu Güde GSE 950 $325 \text{ W} \cdot \text{Hz}^{-1}$.

Nejdříve byly zobrazeny výstupní grafy typu Gesan G3000HK. Z charakteristik vyplývá, že při činném zatížení se zvyšujícím se zatížením klesá frekvence i napětí. U induktivní zátěže frekvence roste, napětí klesá a u kapacitní naopak frekvence klesá, napětí roste. Další zapojení bylo s odporem a kondenzátorem a odporem a tlumivkou s tím, že se měřilo nejdříve s nižším a poté s vyšším odporem. V prvním případě frekvence klesá a napětí roste, přičemž s vyšším odporem stoupá napětí do vyšších hodnot. V druhém případě frekvence i napětí klesá, přičemž s nižším odporem se napětí pohybuje v nižších hodnotách. U typu Güde GSE 950 byla naměřena charakteristika při činném zatížení. U té frekvence s rostoucím zatížením klesá a napětí roste.

V protokolu byl uveden výpočet celkové účinnosti spalovacího generátoru za předpokladu výhřevnosti paliva $42\,900 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, s měrnou hustotou $0,746 \text{ kg} \cdot \text{l}^{-1}$ a spotřebou paliva danou výrobcem. U Gesan G3000HK vyšla účinnost 30 % a u Güde GSE 950 byla vypočtena na hodnotu 10,35 %. Z toho vyplývá, že účinnější je spalovací generátor se značkou Gesan.

Praktické měření bylo naměřeno zhruba během hodiny bez přípravy laboratorní úlohy, proto bych navrhoval pro plynulejší měření přípravu úlohy před hodinou. Pro názornou ukázkou rozdílu mezi měkkým (elektrocentrálou) a tvrdým (sítí) zdrojem bych doporučil, aby se změnila zatěžovací charakteristika sítě při činném zatížení.

Laboratorní úloha bude dále sloužit nadcházejícím ročníkům do praktických měření jako názorná ukázkou rozdílu mezi tvrdým a měkkým zdrojem elektrické energie. Vidět bude především ze zatěžovacích charakteristik a popřípadě i z výkonového čísla zdroje. Laboratorní úloha by se mohla rozšířit. Součástí by mohlo být měření harmonického zkreslení napětí, měření přechodových charakteristik a výpočet ceny kilowatthodiny vyrobené generátorem. Laboratorní měření, které bylo provedeno spíše spadá do předmětu Řízení elektrizačních soustav, který jsem ještě neabsolvoval.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DOLEŽAL J., ŠŤASTNÝ J., ŠPETLÍK J., BOUČEK S., BRETTSCHEIDER Z., *Jaderné a klasické elektrárny*, 1. vyd. Praha: ČVUT, 2011, ISBN 978-80-01-04936-5
- [2] TLUSTÝ J. a spol., *Monitorování, řízení a chránění elektrizačních soustav*, 1.vyd. Praha: ČVUT, 2011, ISBN 978-80-01-04940-2
- [3] VAVŘIŇÁK P., *Elektrické stroje a přístroje*, Ostrava: Střední škola Elektrotechnická, 2006
- [4] HALUZÍK E., *Řízení provozu elektrizačních soustav*, Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1984
- [5] *Co je to motorgenerátor* [online]. [cit. 2012-05-05]. Dostupné na WWW: <<http://www.elektro-tom.cz/motorgeneratory>>.
- [6] *Popis elektrocentrály* [online]. [cit. 2009-02-00]. Dostupné na WWW: <<http://www.gigamat.cz/asist-benzinova-elektrocentrala-20002400w-p2396>>.
- [7] *Pístové spalovací motory* [online]. [cit. 2008-10-07]. Dostupné na WWW: <www.ingjars.estranky.cz/file/186/pspmot1.pdf>.
- [8] *Motory* [online]. [cit. 2013-01-21]. Dostupné na WWW: <<http://www.animfyzika.wz.cz>>.
- [9] *Diesel engine* [online]. [cit. 2013-04-10]. Dostupné na WWW: <<http://www.myrctoys.com/faqs/engine-diagrams-and-animations>>.
- [10] *Motory pro miliony* [online]. [cit. 2002-00-00]. Dostupné na WWW: <http://www.energyweb.cz/web/index.php?display_page=2&subitem=1&ee_chapter=2.2.2>.
- [11] *Spalovací motory* [online]. [cit. 2013-04-11]. Dostupné na WWW: <http://www.spsstavcb.cz/download2/633_1172_cs_motory.pdf>.
- [12] *Elektrocentrály* [online]. [cit. 2009-00-00]. Dostupné na WWW: <<http://www.atoll-europe.cz/eshop/technologie-elektrocentraly>>.
- [13] *Základy elektroenergetiky* [online]. [cit. 2011-02-14]. Dostupné na WWW: <http://homen.vsb.cz/~vac174/vyuka/ES/Studijni_opory/Elektricke_stroje.pdf>.
- [14] *Asynchronní alternátor* [online]. [cit. 2002-00-00]. Dostupné na WWW: <http://www.energyweb.cz/web/index.php?display_page=2&subitem=1&ee_chapter=5.2.3>.
- [15] *Asynchronní elektrický stroj* [online]. [cit. 2010-00-00]. Dostupné na WWW: <http://www.mti.tul.cz/files/elm/ELM_ucebni_text_cast2.pdf>.
- [16] *Popis produktu* [online]. [cit. 2008-03-16]. Dostupné na WWW: <<http://www.gude.cz/naradi/benzinove/elektrocentrala-gse-950.html>>.

[17] *Elektrocentrály Gesan* [online]. [cit. 2013-04-11]. Dostupné na WWW: <http://www.profi-elektrocentraly.cz/elektrocentraly-gesan>.

[18] *Závislost momentu na zátěžném úhlu, statická stabilita* [online]. [cit. 2013-04-06]. Dostupné na WWW: <http://www.spse.dobruska.cz/download/sokol/SG.pdf>.

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR. 1 POPIS MALÉHO GENERÁTORU SE SPALOVACÍM MOTOREM [6]	3
OBR. 2 PRINCIP VZNĚTOVÉHO MOTORU.....	5
OBR. 3 PRINCIP ZÁŽEHOVÉHO MOTORU [10]	5
OBR. 4 PROVEDENÍ SYNCHRONNÍHO STROJE S HLADKÝM ROTOREM A) A VYJÁDŘENÝMI PÓLY B) [1]	8
OBR. 5 MOMENTOVÁ CHARAKTERISTIKA SYNCHRONNÍHO STROJE [13]	10
OBR. 6 VLEVO USPOŘÁDÁNÍ ROTORU A STATORU ASYNCHRONNÍHO STROJE A VPRAVO KLEC NAKRÁTKO..	11
OBR. 7 ASYNCHRONNÍ STROJ S KOTVOU NAKRÁTKO [14]	12
OBR. 8 ASYNCHRONNÍ STROJ S KROUŽKOVOU KOTVOU [14].....	12
OBR. 9 MOMENTOVÁ CHARAKTERISTIKA ASYNCHRONNÍHO STROJE [3].....	13
OBR. 10 GÜDE GSE 950 [16]	16
OBR. 11 GESAN G3000HK [17]	17
OBR. 12 REGULACE FREKVENCE A VELIKOSTI NAPĚTÍ [4]	18
OBR. 13 STATICKE CHARAKTERISTIKY ZDROJŮ [4]	18
OBR. 14 REGULACE VÝKONU [4].....	19
OBR. 15 ZÁVISLOST JALOVÉHO VÝKONU NA NAPĚTÍ [4]	19
OBR. 16 ZÁVISLOST NAPĚTÍ NA ZMĚNĚ ZATÍŽENÍ TVRDÉHO ZDROJE	20
OBR. 17 SCHÉMA ZAPOJENÍ PŘI OHMICKÉ ZÁTĚŽI.....	21
OBR. 18 SCHÉMA ZAPOJENÍ PŘI INDUKTIVNÍ A KAPACITNÍ ZÁTĚŽI	21

SEZNAM TABULEK

TAB. 1 PARAMETRY BENZÍNOVÉHO GENERÁTORU GÜDE GSE 950	16
TAB. 2PARAMETRY BENZÍNOVÉHO GENERÁTORU GESAN G3000HK	17
TAB. 3 NAMĚŘENÉ HODNOTY PRO TVRDÝ ZDROJ	20

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A – Bakalářská práce (vzorový protokol - výstupní charakteristiky malého generátoru se spalovacím motorem)

PŘÍLOHA A

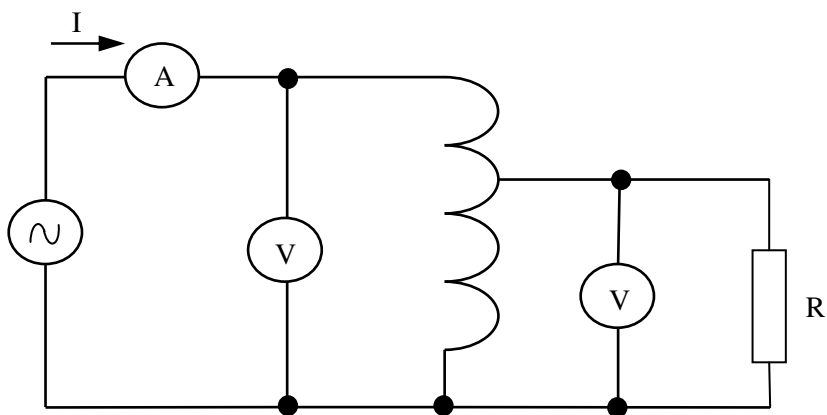
Bakalářská práce		
VŠB – TU OSTRAVA	Výstupní charakteristiky malého generátoru se spalovacím motorem	Kubík Ondřej
FEI		KUB0134
Elektroenergetika		

Zadání:

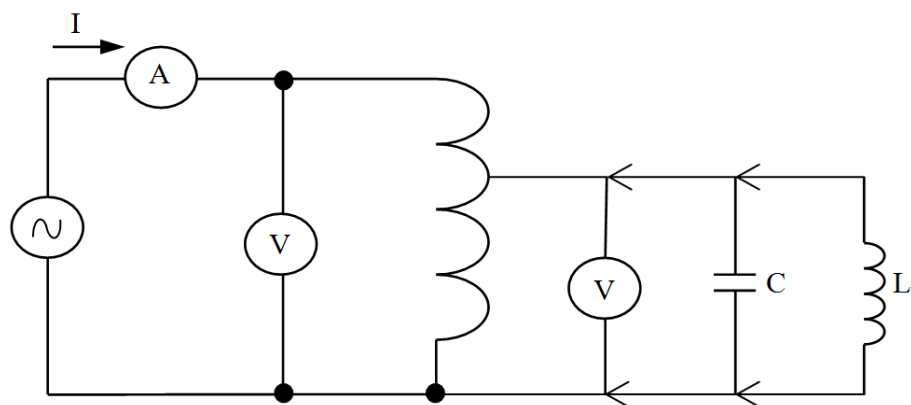
1. Změřte zatěžovací charakteristiky zážehového generátoru Gesan při ohmickém induktivním, kapacitním zatížení a v zapojení s kombinací ohmické s kapacitní a ohmické s induktivní zátěží a to s nižší a vyšší hodnotou odporu.
2. Změřte zatěžovací charakteristiky zážehového generátoru Güde při ohmickém zatížení.
3. Vyhotovte zatěžovací charakteristiky v obou případech a porovnejte je s výstupními charakteristikami sítě.
4. Určete tvrdost zdroje z výkonového čísla při činném zatížení.
5. Vypočítejte celkovou elektrickou účinnost přeměny chemické energie vázané v palivu na elektrickou energii na svorkách zdroje při činném zatížení (celkovou elektrickou účinnost generátoru), pokud uvažujeme provoz zdroje na jmenovitý výkon (trvalé jmenovité zatížení generátoru) se spotřebou paliva u Güde $0,7 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$ a u Gesan $0,9 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$ o výhřevnosti $H_u = 42\,900 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ (oktanové číslo 95) a s měrnou hmotností (hustotou) $\rho = 0,746 \text{ kg} \cdot \text{l}^{-1}$.

Schéma zapojení:

Ohmické zatížení:



Kapacitní a induktivní zatížení:



Použité přístroje:

Analyzátor sítí BK-ELCOM - ENA330; 180 -265V AC; 47 - 63Hz; 20VA

Autotransformátor ESS 106 - 230/250 V; 7/6,3 A; 50 – 60 Hz

Reostat - (105Ω)

Tlumivka s přepínatelnými odbočkami – 541/435

Kondenzátor

Naměřené hodnoty:

Níže je v tabulkách uvedeno prvních dvacet naměřených hodnot při jednotlivých zatíženích.

Gesam G3000HK								
Činné zatížení			Induktivní zatížení			Kapacitní zatížení		
P (W)	U (V)	f (Hz)	Q (VAr)	U (V)	f (Hz)	Q (VAr)	U (V)	f (Hz)
86,88	254,36	53,21	82,02	252,69	53,00	83,06	252,72	53,09
83,25	251,31	53,11	82,54	253,54	53,09	80,87	252,10	53,07
83,92	251,59	52,97	81,72	253,14	53,02	81,07	252,33	53,02
84,05	252,35	52,98	82,26	253,31	53,01	83,44	253,60	53,08
83,08	251,94	52,94	83,20	252,78	53,07	81,16	252,47	53,19
85,93	254,00	52,94	82,47	251,45	53,12	79,33	251,47	53,09
86,56	254,54	53,10	83,32	253,09	53,07	78,22	250,91	52,94
85,49	253,74	53,18	80,73	251,72	53,05	80,88	252,01	52,88
86,39	254,46	53,14	80,43	251,50	52,97	81,53	252,55	53,01
86,74	254,82	53,15	79,30	250,64	52,86	80,88	252,40	53,12
84,28	252,57	53,15	83,06	253,42	52,88	80,66	252,34	53,09
82,84	251,43	53,02	82,12	252,76	53,03	79,08	251,08	53,00
85,56	253,66	52,94	81,71	252,43	53,06	80,00	251,65	52,96
86,83	254,43	53,08	82,37	252,98	52,99	78,61	250,75	52,94
85,11	253,11	53,15	83,92	254,26	53,08	77,02	250,56	52,84
86,59	253,58	53,05	82,52	253,05	53,14	81,48	252,72	52,85
90,33	254,62	53,07	84,29	254,59	53,11	82,17	253,02	53,03
91,30	253,99	53,15	82,29	252,70	53,14	81,71	252,83	53,17
91,44	252,93	53,04	80,13	250,90	53,05	77,98	251,41	53,09
92,60	252,93	52,91	82,52	253,13	52,92	79,54	251,95	52,93

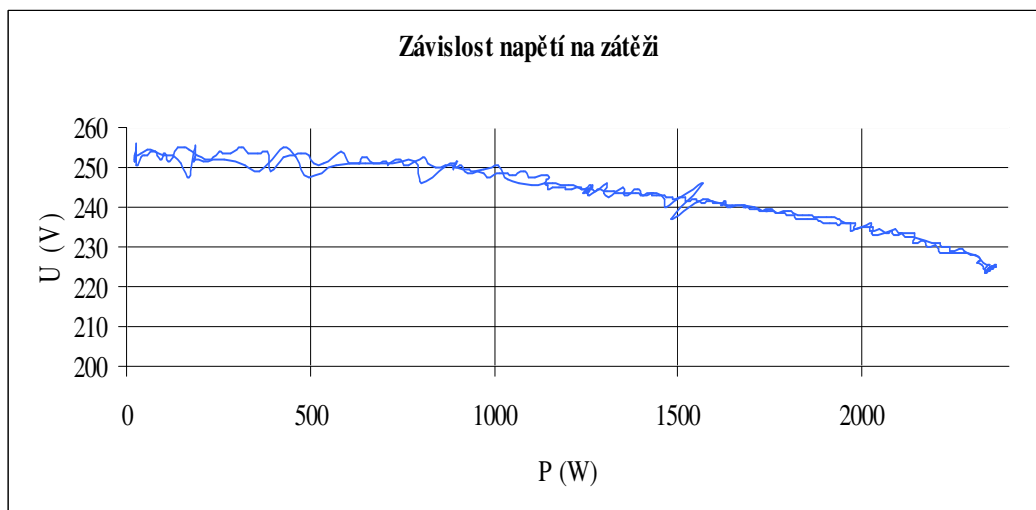
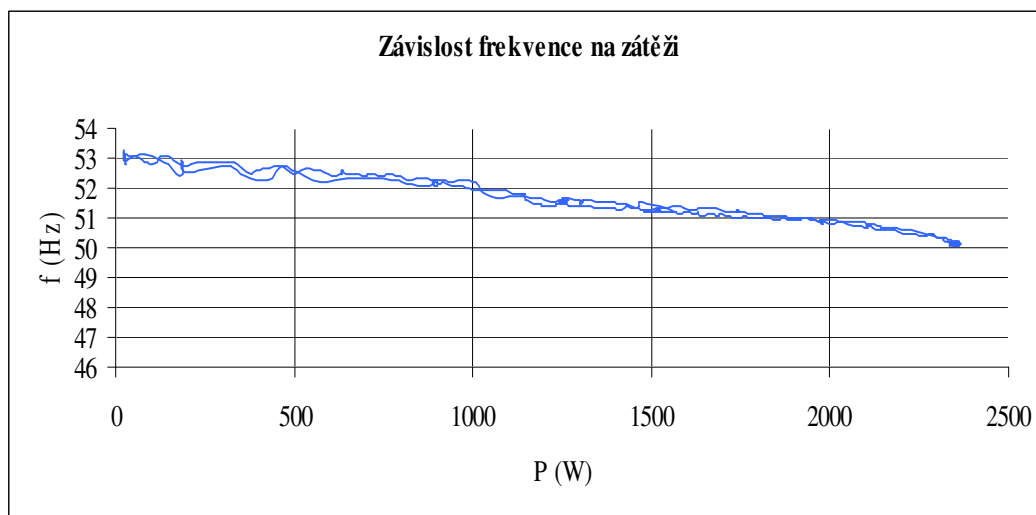
Gesam G3000HK					
Ohmové a kapacitní zatížení			Ohmové a induktivní zatížení		
S (VA)	U (V)	f (Hz)	S (VA)	U (V)	f (Hz)
123,96	251,90	53,17	90,22	255,05	53,31
87,57	253,25	53,35	88,82	254,58	53,22
81,90	251,87	53,30	89,58	254,83	53,13
80,99	252,06	53,19	90,56	255,18	53,14
78,53	250,64	53,14	92,31	255,75	53,20
78,63	251,61	53,04	92,06	255,53	53,30
76,60	251,14	52,98	90,04	254,83	53,30
76,63	250,19	52,94	91,26	255,37	53,24
78,30	251,03	52,90	90,19	254,92	53,25
78,92	251,39	52,97	90,71	255,27	53,22
79,46	251,53	53,04	90,72	255,30	53,25
78,18	250,71	53,07	90,28	255,01	53,27
78,23	250,69	53,00	89,29	254,42	53,21
79,10	251,07	52,96	88,78	254,36	53,12
78,54	250,94	52,96	90,52	255,15	53,12
78,30	250,87	52,93	89,87	254,64	53,18
81,01	252,28	52,97	89,26	254,02	53,12
81,29	252,26	53,10	92,28	254,30	53,05
79,23	251,31	53,11	96,55	254,46	53,08
78,76	251,04	52,97	99,12	253,59	53,08

Güde GSE 950		
Činné zatížení		
P (W)	U (V)	f (Hz)
15,65	274,10	49,96
21,41	296,38	50,77
11,52	220,40	51,86
10,13	205,89	51,52
14,89	250,29	51,44
14,22	245,01	52,78
12,93	233,69	52,67
14,35	246,71	52,27
14,81	249,21	52,69
13,99	245,36	52,86
14,15	245,53	52,66
14,67	250,01	52,69
14,68	249,50	52,79
14,95	250,75	52,91
14,77	252,66	53,05
14,07	241,95	52,89
13,37	240,19	52,50
12,23	227,75	52,13
13,30	234,74	52,00
13,74	243,17	52,20

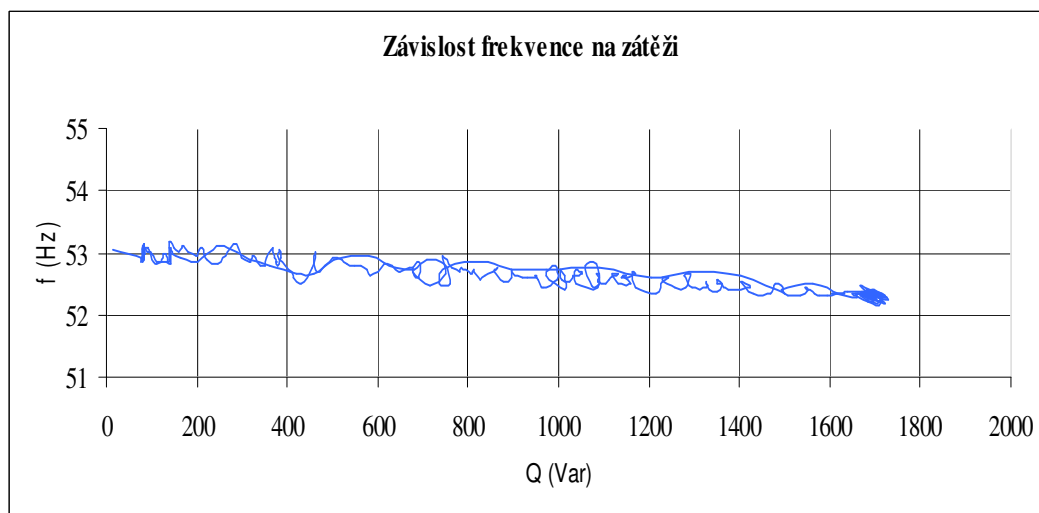
Zatěžovací charakteristiky:

Gesan G3000HK

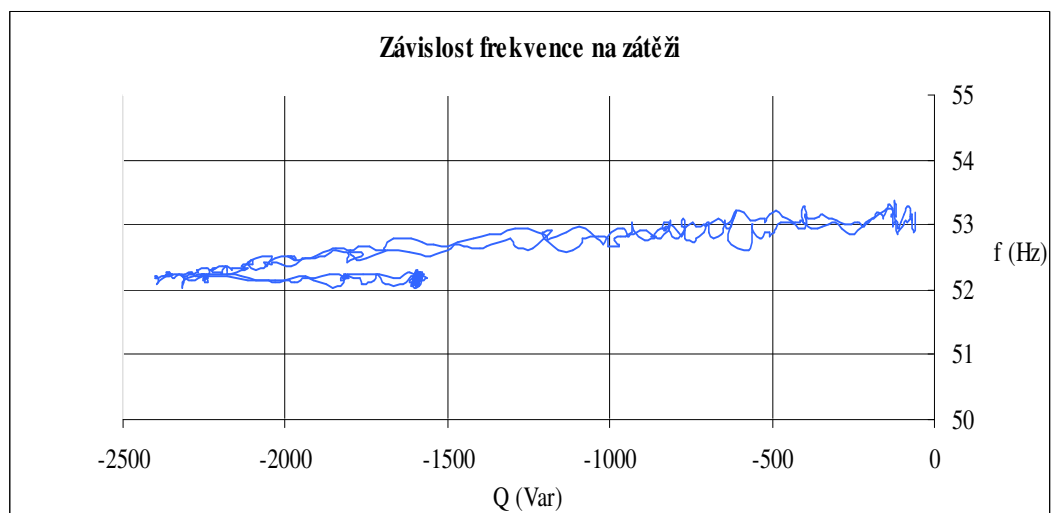
Činné zatížení

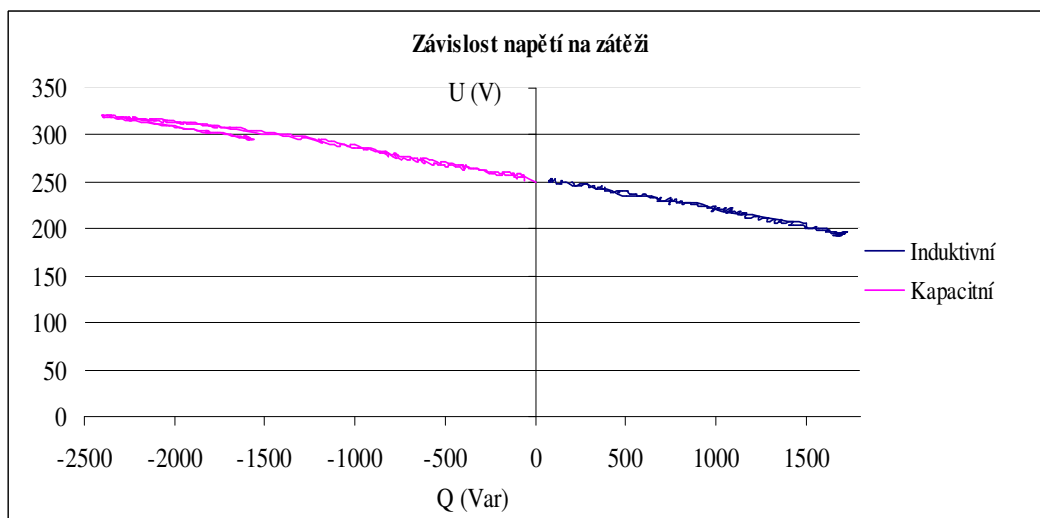


Induktivní zatížení

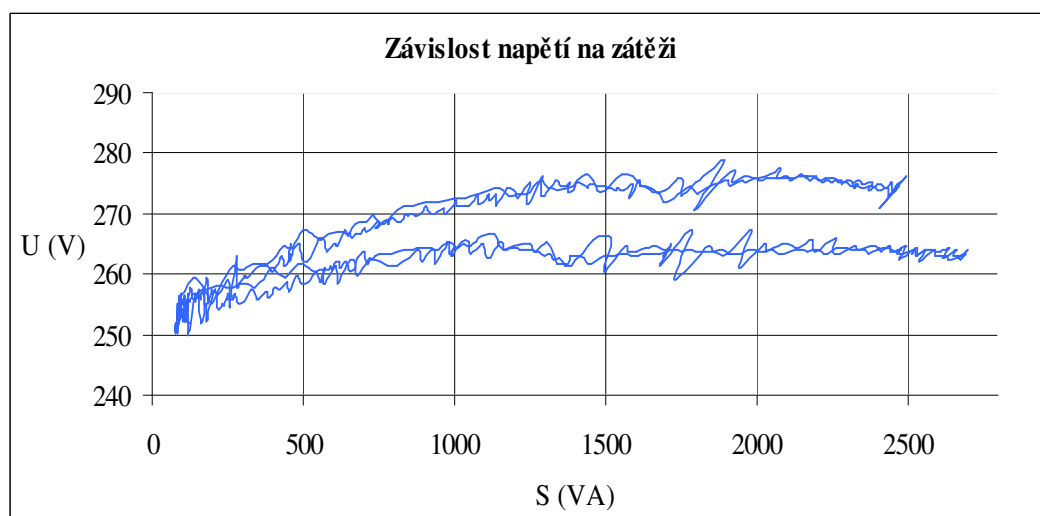
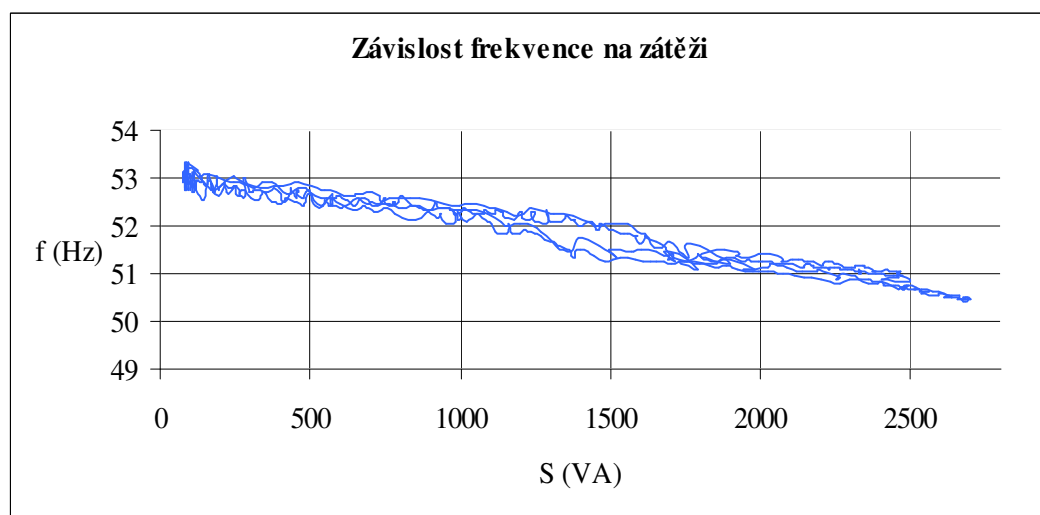


Kapacitní zatížení

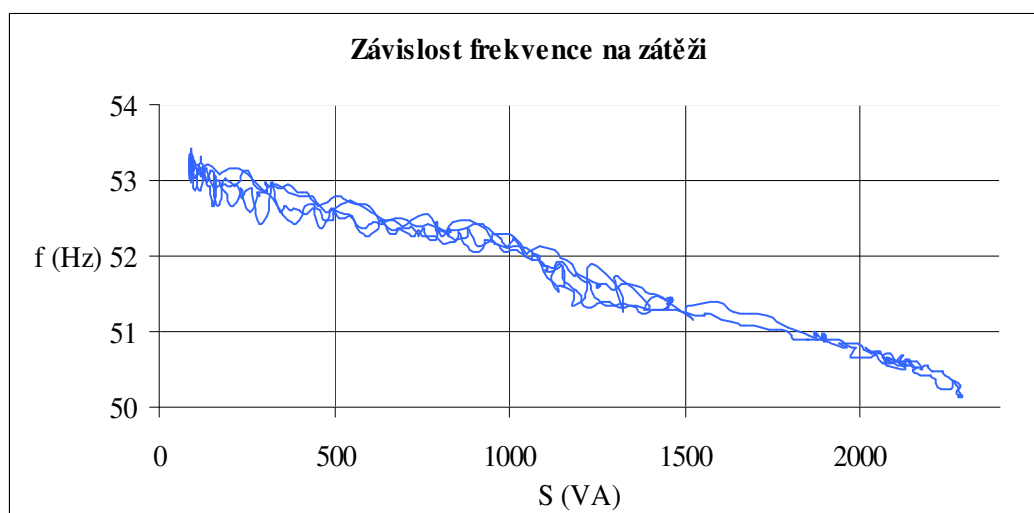
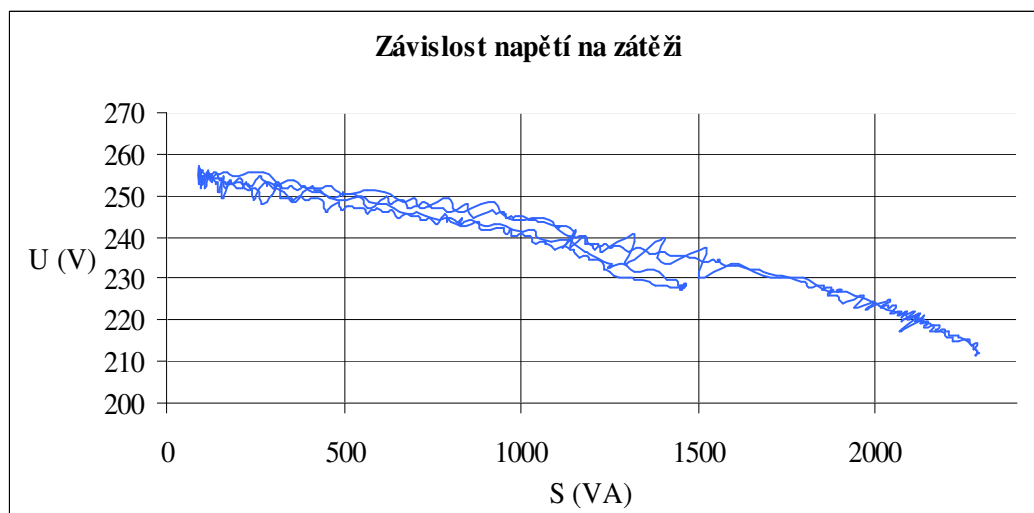




Ohmové a kapacitní zatížení

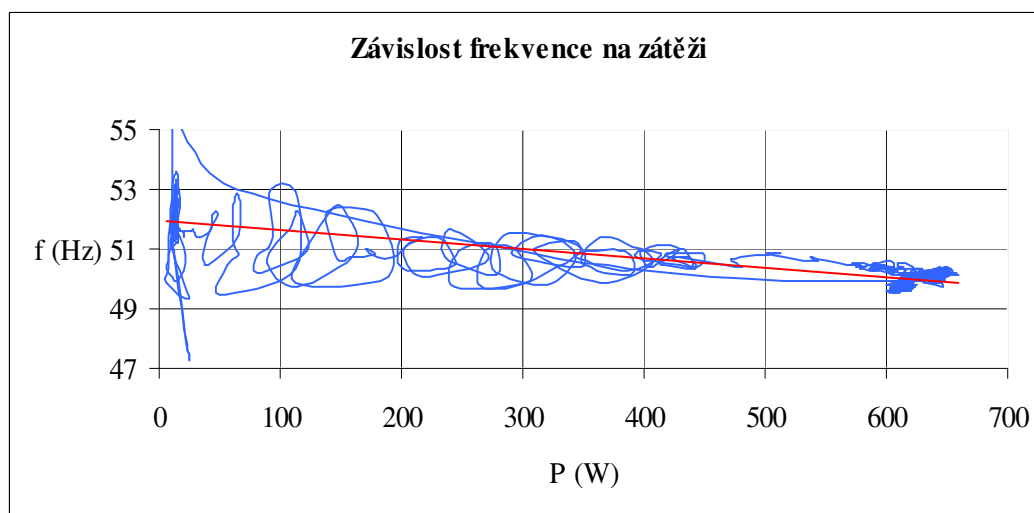
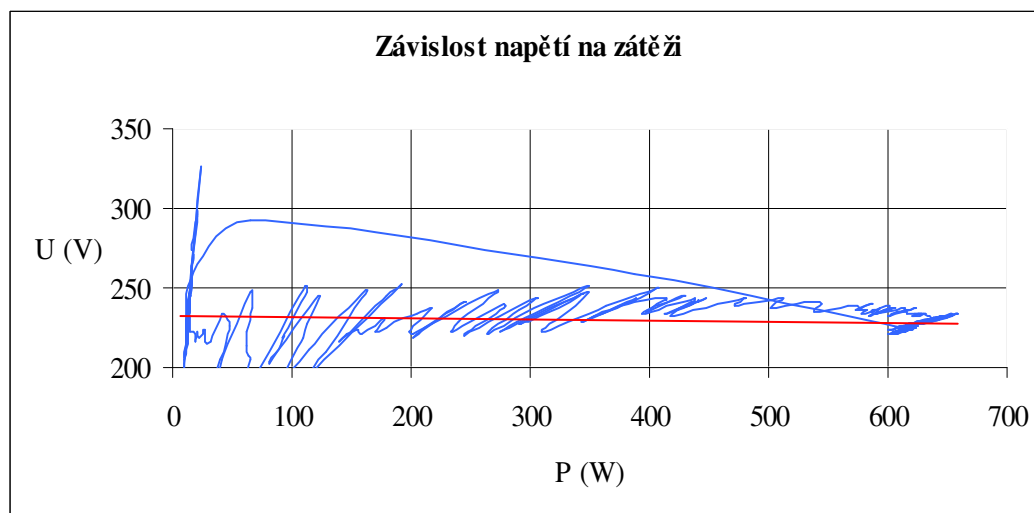


Ohmové a induktivní zatížení



Güde GSE 950

Činné zatížení



Výpočty:

Výkonové číslo

Gesan G3000HK

Činné zatížení:

$$K_g = -\frac{\Delta P_g}{\Delta f} = -\frac{P_{gn} - P_{g0}}{f_n - f_0} = -\frac{2400 - 0}{50 - 53} = 800 \text{ W} \cdot \text{Hz}^{-1}$$

Güde GSE 950

Činné zatížení:

$$K_g = -\frac{\Delta P_g}{\Delta f} = -\frac{P_{gn} - P_{g0}}{f_n - f_0} = -\frac{650 - 0}{50 - 52} = 325 \text{ W} \cdot \text{Hz}^{-1}$$

Celková účinnost generátoru

Gesan G3000HK

$$\eta_C = \eta_i \eta_m \eta_p \eta_{el} = \frac{3,6 \cdot P}{H_U \cdot M_{PH}} = \frac{3,6 \cdot U \cdot I}{H_U \cdot M_{PH}} = \frac{3,6 \cdot 230 \cdot 10,4}{0,9 \cdot 0,746 \cdot 42900} \cdot 100 = 30\%$$

Güde GSE 950

$$\eta_C = \eta_i \eta_m \eta_p \eta_{el} = \frac{3,6 \cdot P}{H_U \cdot M_{PH}} = \frac{3,6 \cdot U \cdot I}{H_U \cdot M_{PH}} = \frac{3,6 \cdot 230 \cdot 2,8}{0,7 \cdot 0,746 \cdot 42900} \cdot 100 = 10,35\%$$

Zhodnocení:

Nejdříve se měřila elektrocentrála Gesan při zatíženích a z naměřených hodnot byly sestrojeny grafy, ve kterých jsou vykresleny závislosti frekvence na zátěži a napětí na zátěži. V tomto měření se u zážehového generátoru Güde nepodařilo naměřit všechny charakteristiky, poněvadž u kondenzátoru bylo nízké napětí a u tlumivky nízký proud. Proto byly sestrojeny charakteristiky při činném zatížení. Ze jmenovitých hodnot byla určena celková účinnost soustrojí. Nakonec se spočítalo výkonové číslo motorogenerátoru daných typů.

Pokud se porovná závislost napětí na zatížení u sítě s charakteristikou u modelu Gesan G3000HK, lze z nich vyčíst, že u sítě napětí zůstává konstantní bez ohledu na zátěži, zatímco u příslušného typu lze vidět, že při kapacitní zátěži se zvyšujícím se zatížením roste i napětí a u induktivní zátěži naopak se zvyšujícím se výkonem napětí klesá. V grafu lze také vidět, že byla překročena povolená hodnota napětí, která má hodnotu s desetiprocentním rozsahem 263 V. U Gesana při činném zatížení klesá frekvence s rostoucím výkonem a s ní klesá i napětí až na jmenovitou hodnotu. Při induktivním zatížení stoupá frekvence, ale napětí klesá a při kapacitní zátěži je to naopak, tedy frekvence klesá a napětí roste při rostoucí hodnotě jalového výkonu. Pokud je kapacitní zátěž s odporovou, frekvence klesá a napětí klesá s tím, že s vyšším odporem je vyšší napětí. U induktivní s ohmovou zátěží se snižuje frekvence i napětí a jako v předchozím případě je vyšší napětí s vyšším odporem.

U typu Güde lze vidět v případě činného zatížení, že frekvence se snižuje, zatímco napětí se zvyšuje.

Závěr:

V případě činného zatížení u obou typů se při jmenovité hodnotě výkonu zastaví frekvence na hodnotě 50 Hz a napětí se pohybuje kolem hodnoty $230 \pm 10\% \text{ V}$. U induktivního se při jmenovité hodnotě zastaví frekvence na 53,5 Hz a napětí klesne na přibližnou hodnotu 150 V, zatímco u kapacitního frekvence spadne na 52 Hz a napětí vzroste na 300 V. Jak již bylo zmíněno, byla překročena povolená hodnota napětí. V případě ohmové s kapacitní zátěží se frekvence zastaví při jmenovité hodnotě výkonu na 51 Hz a napětí při vyšším odporu nabývá hodnoty 275 V a s nižším odporem 265 V. Pro induktivní s ohmovou zátěží je frekvence při výkonu daném výrobcem 50 Hz a napětí s vyšším i nižším odporem se zastaví na 230 V. Výkonové číslo při činné zátěži bylo vypočítáno u značky Gesan na hodnotu $800 \text{ W} \cdot \text{Hz}^{-1}$ a u Güde

na $325 \text{ W} \cdot \text{Hz}^{-1}$. Pokud se porovnájí výkonová čísla, lze z nich zjistit, že elektrocentrály jsou měkké zdroje, zatímco síť je zdroj tvrdý, protože čím vyšší je hodnota, tím tvrdší je zdroj a u sítě se hodnota blíží nekonečnu. Celková účinnost přeměny energie je u Gesan 30 % a u Güde 10 %. Z toho vyplývá, že malý generátor se spalovacím motorem Gesan je účinnější, než u Güde a to o 19,65 %.